Curso a distancia para “La generación y el uso eficiente del vapor”

año 2007

Modulo 4-CALCULO RAPIDOS Y GRAFICOS DE GASES CHIMENEA

TABLAS DE CALCULO RÁPIDO DE EFICIENCIAS DE COMBUSTIÓN Y TRANSFERENCIAS . (Calculadas por el autor).

Las tablas que siguen en las páginas siguientes, permiten calcular la **EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN Y TRANSFERENCIA AL P.C.I. a partir de la medida del CO2 o el O2** (si utilizamos la reglilla auxiliar)**.**

Recordar que en este caso las tablas responden a medidas de CO2 libres de monóxido de carbono (CO) u otros gases sin quemar, o sea a combustión completa.

Ya que el CO2 en general es el más fácil de medir con un FYRITE u ORSAT, y la temperatura de chimenea con un termómetro de hasta 500ºC del tipo dial o electrónico (puesto en la chimenea) y la temperatura ambiente con un termómetro común de ambiente.

Las siguientes tablas están calculadas para combustibles promedios y en el caso de la leña, la misma con una humedad en base húmeda de 25% (de 6 meses a un año de estacionamiento, dependiendo de la época del año, otros valores hay que calcularlos).

Medir el CO2 de los gases, la temperatura de chimenea y la ambiente. Restar a la temperatura de chimenea la temperatura ambiente (esto dará el salto térmico o sea la temperatura de lo que perdemos por el calentamiento de los gases de chimenea).

En la tabla indicada, entramos por la izquierda el valor del CO2 y por la parte superior la diferencia de temperatura, la unión de la lectura del CO2 en la horizontal con respecto a la temperatura en la vertical, dará la **EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN Y TRANSFERENCIA REFERIDA AL P.C.I.** (Poder calorífico inferior).

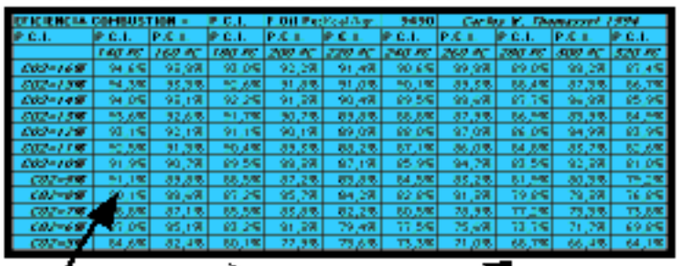
Para ver que exceso de aire tenemos, referirnos a las curvas de CO2 u O2 , o a los **triángulos de OSTWALD para cada combustible,** que están en el libro o en la **tablas auxiliares** (a continuación de las referidas al cálculo). Pudiendo **recortar las tablas** (fotocopiar y recortar) y utilizando las **tablas** siguientes correspondientes a cada combustible, recortar el hueco correspondiente (indicado por punteado) en las **tablas auxiliares**, en donde podremos "encajar" en la parte inferior la tabla correspondiente (o sea del mismo combustible) y con ello además del cálculo de la Eficiencia de Combustión y Transferencia, obtendremos los **excesos de aire** correspondientes a cada lectura de **CO2** y además el exceso de **O2** (oxígeno). También si tenemos un medidor de O2 en lugar del medidor de CO2, podremos entrar a cada tabla.

Ver el procedimiento inferior para proceder a la utilización de las reglillas.

Modulo 4-CALCULO RAPIDOS Y GRAFICOS DE GASES CHIMENEA

FOTOCOPIAR PARA PODER RECORTAR LAS REGLAS DE CALCULO

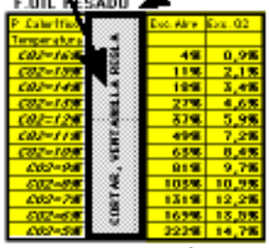
REGLA DE CALCULO EFICIENCIA



leer por debajo columna diferencia temperatura

CORTAR

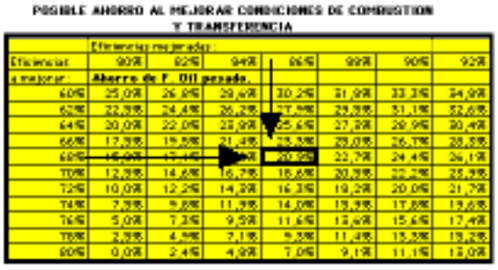
el hueco de la reglilla inferior permite introducir por debajo y leer los valores de la regla de cálculo de Eficiencia, agregando los valores de exceso de aire y el exceso de O2 (oxígeno).



UTILIZAR IGUAL COMBUSTIBLE EN AMBAS REGLAS.

Luego calcular el ahorro.

El ahorro en % en la unión de las verticales con las horizontales



Ahorro en % posible del combustible bajando el exceso de aire o la temperatura de chimenea

Modulo 4-CALCULO RAPIDOS Y GRAFICOS DE GASES CHIMENEA

GAS NATURAL P.C.I.

EFICIENCIA COMBUSTION =	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	GasNatur Kcal/kgr.	P.C.I.	11500	P.C.I.	Carlos W. Thomasset 1998	P.C.I.	P.C.I.
P.C.I.	140 ºC	160 ºC	180 ºC	200 ºC	220 ºC	240 ºC	260 ºC	280 ºC	300 ºC	320 ºC
CO2 =11,5%	94,3%	93,5%	92,6%	91,8%	90,9%	90,1%	89,2%	88,4%	87,5%	86,6%
CO2 =11,0%	94,1%	93,2%	92,4%	91,5%	90,6%	89,7%	88,9%	88,0%	87,1%	86,2%
CO2 =10,5%	93,9%	93,0%	92,1%	91,2%	90,3%	89,4%	88,4%	87,5%	86,6%	85,6%
CO2 =10,0%	93,6%	92,7%	91,8%	90,8%	89,9%	88,9%	88,0%	87,0%	86,0%	85,1%
CO2 =9,5%	93,4%	92,4%	91,4%	90,4%	89,4%	88,5%	87,5%	86,5%	85,5%	84,4%
CO2 =9,0%	93,1%	92,0%	91,0%	90,0%	89,0%	87,9%	86,9%	85,8%	84,8%	83,7%
CO2 =8,5%	92,7%	91,6%	90,6%	89,5%	88,4%	87,3%	86,3%	85,2%	84,1%	83,0%
CO2 =8,0%	92,3%	91,2%	90,1%	89,0%	87,8%	86,7%	85,5%	84,4%	83,2%	82,1%
CO2 =7,5%	91,9%	90,7%	89,5%	88,3%	87,1%	85,9%	84,7%	83,5%	82,3%	81,1%
CO2 =7,0%	91,4%	90,2%	88,9%	87,6%	86,4%	85,1%	83,8%	82,5%	81,2%	79,9%
CO2 =6,5%	90,8%	89,5%	88,2%	86,8%	85,5%	84,1%	82,7%	81,4%	80,0%	78,6%
CO2 =6,0%	90,2%	88,7%	87,3%	85,9%	84,4%	83,0%	81,5%	80,0%	78,5%	77,1%

LEÑA CON 25% H.b.h. P.C.I.

EFICIENCIA COMBUSTION P.C.I.=	Leña	Kcal/kgr.	3080	Carlos W. Thomasset 1991						
Humedad	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%
	140 ºC	160 ºC	180 ºC	200 ºC	220 ºC	240 ºC	260 ºC	280 ºC	300 ºC	320 ºC
CO2=19%	92,6%	91,5%	90,4%	89,3%	88,1%	87,0%	85,9%	84,8%	83,6%	82,5%
CO2=18%	92,3%	91,1%	90,0%	88,8%	87,7%	86,5%	85,3%	84,2%	83,0%	81,8%
CO2=17%	91,9%	90,8%	89,6%	88,4%	87,2%	86,0%	84,7%	83,5%	82,3%	81,0%
CO2=16%	91,6%	90,3%	89,1%	87,8%	86,6%	85,3%	84,0%	82,8%	81,5%	80,2%
CO2=15%	91,2%	89,9%	88,6%	87,2%	85,9%	84,6%	83,3%	81,9%	80,6%	79,2%
CO2=14%	90,7%	89,3%	87,9%	86,6%	85,2%	83,8%	82,4%	81,0%	79,5%	78,1%
CO2=13%	90,1%	88,7%	87,2%	85,8%	84,3%	82,8%	81,3%	79,8%	78,3%	76,8%
CO2=12%	89,5%	88,0%	86,4%	84,9%	83,3%	81,7%	80,1%	78,6%	77,0%	75,4%
CO2=11%	88,7%	87,1%	85,4%	83,8%	82,1%	80,4%	78,7%	77,0%	75,3%	73,6%
CO2=10%	87,8%	86,0%	84,3%	82,5%	80,7%	78,8%	77,0%	75,2%	73,3%	71,5%
CO2=9%	86,7%	84,8%	82,8%	80,9%	78,9%	76,9%	74,9%	72,9%	70,9%	68,9%
CO2=8%	85,3%	83,2%	81,0%	78,9%	76,7%	74,5%	72,3%	70,1%	67,9%	65,7%

Modulo 4-CALCULO RAPIDOS Y GRAFICOS DE GASES CHIMENEA

F.Oil CALEFACCION P.C.I. F.Oil PESADO CRACKING P.C.I.

EFICIENCIA COMBUSTION =	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	F.Oil Ca[Kcal/kgr.]	P.C.I.	P.C.I.	10420	Carlos W. Thomasset 1990	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.
P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.		P.C.I.	P.C.I.		P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.
	140 ºC	160 ºC	180 ºC	200 ºC	220 ºC	240 ºC	260 ºC	280 ºC	300 ºC	320 ºC
CO2=15%	94,7%	93,9%	93,1%	92,3%	91,5%	90,7%	89,9%	89,1%	88,3%	87,5%
CO2=14%	94,3%	93,5%	92,7%	91,8%	91,0%	90,2%	89,3%	88,5%	87,6%	86,7%
CO2=13%	94,0%	93,1%	92,2%	91,3%	90,4%	89,5%	88,6%	87,7%	86,8%	85,9%
CO2=12%	93,5%	92,6%	91,6%	90,7%	89,7%	88,8%	87,8%	86,8%	85,9%	84,9%
CO2=11%	93,0%	92,0%	91,0%	90,0%	88,9%	87,9%	86,8%	85,8%	84,7%	83,7%
CO2=10%	92,4%	91,3%	90,2%	89,1%	88,0%	86,8%	85,7%	84,6%	83,4%	82,3%
CO2=9%	91,7%	90,4%	89,2%	88,0%	86,8%	85,5%	84,3%	83,0%	81,8%	80,5%
CO2=8%	90,7%	89,4%	88,0%	86,7%	85,3%	83,9%	82,5%	81,2%	79,8%	78,4%
CO2=7%	89,5%	88,0%	86,5%	84,9%	83,4%	81,8%	80,3%	78,7%	77,1%	75,6%
CO2=6%	87,9%	86,2%	84,4%	82,6%	80,9%	79,1%	77,3%	75,5%	73,7%	71,8%
CO2=5%	85,7%	83,6%	81,5%	79,4%	77,3%	75,2%	73,1%	70,9%	68,8%	66,6%
CO2=4%	82,3%	79,7%	77,2%	74,6%	72,0%	69,4%	66,7%	64,1%	61,5%	58,8%

EFICIENCIA COMBUSTION =	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	F.Oil Pe[Kcal/kgr.]	P.C.I.	P.C.I.	9490	Carlos W. Thomasset 1994	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.
P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.		P.C.I.	P.C.I.		P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.	P.C.I.
	140 ºC	160 ºC	180 ºC	200 ºC	220 ºC	240 ºC	260 ºC	280 ºC	300 ºC	320 ºC
CO2=16%	94,6%	93,8%	93,0%	92,2%	91,4%	90,6%	89,8%	89,0%	88,2%	87,4%
CO2=15%	94,3%	93,5%	92,6%	91,8%	91,0%	90,1%	89,3%	88,4%	87,5%	86,7%
CO2=14%	94,0%	93,1%	92,2%	91,3%	90,4%	89,5%	88,6%	87,7%	86,8%	85,9%
CO2=13%	93,6%	92,6%	91,7%	90,7%	89,8%	88,8%	87,9%	86,9%	85,9%	84,9%
CO2=12%	93,1%	92,1%	91,1%	90,1%	89,0%	88,0%	87,0%	86,0%	84,9%	83,9%
CO2=11%	92,5%	91,5%	90,4%	89,3%	88,2%	87,1%	86,0%	84,8%	83,7%	82,6%
CO2=10%	91,9%	90,7%	89,5%	88,3%	87,1%	85,9%	84,7%	83,5%	82,3%	81,0%
CO2=9%	91,1%	89,8%	88,5%	87,2%	85,8%	84,5%	83,2%	81,9%	80,5%	79,2%
CO2=8%	90,1%	88,6%	87,2%	85,7%	84,2%	82,8%	81,3%	79,8%	78,3%	76,8%
CO2=7%	88,8%	87,1%	85,5%	83,8%	82,2%	80,5%	78,9%	77,2%	75,5%	73,8%
CO2=6%	87,0%	85,1%	83,2%	81,3%	79,4%	77,5%	75,6%	73,7%	71,7%	69,8%
CO2=5%	84,6%	82,4%	80,1%	77,9%	75,6%	73,3%	71,0%	68,7%	66,4%	64,1%

Modulo 4-CALCULO RAPIDOS Y GRAFICOS DE GASES CHIMENEA

F.OIL PESADO

P .Calorífico	CORTAR, VENTANILLA REGLA	Exc.Aire	Exc. 02
Temperatura			
CO2=16%		4%	0,9%
CO2=15%		11%	2,1%
CO2=14%		18%	3,4%
CO2=13%		27%	4,6%
CO2=12%		37%	5,9%
CO2=11%		49%	7,2%
CO2=10%		63%	8,4%
CO2=9%		81%	9,7%
CO2=8%		103%	10,9%
CO2=7%		131%	12,2%
CO2=6%		169%	13,5%
CO2=5%		222%	14,7%

LEÑA

Humedad	CORTAR, VENTANILLA REGLA	Exc.Aire	Exc. 02
Temperatura			
CO2=19%		2%	0,4%
CO2=18%		8%	1,5%
CO2=17%		14%	2,6%
CO2=16%		21%	3,7%
CO2=15%		29%	4,8%
CO2=14%		38%	5,8%
CO2=13%		48%	6,9%
CO2=12%		60%	8,0%
CO2=11%		75%	9,1%
CO2=10%		92%	10,2%
CO2=9%		113%	11,3%
CO2=8%		140%	12,3%

F.OIL CALEFACCION

P .Calorífico	CORTAR, VENTANILLA REGLA	Exc.Aire	Exc. 02
Temperatura			
CO2=15%		5%	1,0%
CO2=14%		12%	2,4%
CO2=13%		20%	3,7%
CO2=12%		30%	5,0%
CO2=11%		41%	6,4%
CO2=10%		54%	7,7%
CO2=9%		71%	9,0%
CO2=8%		91%	10,4%
CO2=7%		118%	11,7%
CO2=6%		153%	13,0%
CO2=5%		202%	14,3%
CO2=4%		276%	15,7%

GAS NATURAL

P .Calorífico	CORTAR, VENTANILLA REGLA	Exc.Aire	Exc. 02
Temperatura			
CO2 =11,5%		4%	0,9%
CO2 =11,0%		8%	1,8%
CO2 =10,5%		13%	2,7%
CO2 =10,0%		18%	3,5%
CO2 =9,5%		24%	4,4%
CO2 =9,0%		30%	5,3%
CO2 =8,5%		37%	6,1%
CO2 =8,0%		45%	7,0%
CO2 =7,5%		54%	7,9%
CO2 =7,0%		64%	8,8%
CO2 =6,5%		76%	9,6%
CO2 =6,0%		90%	10,5%

Modulo 4-CALCULO RAPIDOS Y GRAFICOS DE GASES CHIMENEA

Una vez que se ha leído la EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN Y TRANSFERENCIA, se puede comparar la misma con la eficiencia de una caldera de mayor eficiencia o con mejores valores de chimenea de la misma caldera (disminuyendo el exceso de aire o la temperatura de chimenea , luego de una limpieza de hollín o de incrustaciones, o reparaciones de la distribución interna de los gases, etc, lo que mejora la transferencia). **con la tabla siguiente**(pg. siguiente) entrar con los valores de lectura obtenida en la **columna de la izquierda** y luego buscando el valor deseado en la **horizontal superio**r, buscar en la **intersección de ambas**, el **ahorro** correspondiente. Este ahorro nos permite comparar calderas o la caldera misma en mejores situaciones.

POSIBLE AHORRO AL MEJORAR CONDICIONES DE COMBUSTION Y TRANSFERENCIA

	Eficiencias mejoradas:						
Eficiencias	80%	82%	84%	86%	88%	90%	92%
a mejorar:	**Ahorro de combustible**						
60%	25,0%	26,8%	28,6%	30,2%	31,8%	33,3%	34,8%
62%	22,5%	24,4%	26,2%	27,9%	29,5%	31,1%	32,6%
64%	20,0%	22,0%	23,8%	25,6%	27,3%	28,9%	30,4%
66%	17,5%	19,5%	21,4%	23,3%	25,0%	26,7%	28,3%
68%	15,0%	17,1%	19,0%	20,9%	22,7%	24,4%	26,1%
70%	12,5%	14,6%	16,7%	18,6%	20,5%	22,2%	23,9%
72%	10,0%	12,2%	14,3%	16,3%	18,2%	20,0%	21,7%
74%	7,5%	9,8%	11,9%	14,0%	15,9%	17,8%	19,6%
76%	5,0%	7,3%	9,5%	11,6%	13,6%	15,6%	17,4%
78%	2,5%	4,9%	7,1%	9,3%	11,4%	13,3%	15,2%
80%	0,0%	2,4%	4,8%	7,0%	9,1%	11,1%	13,0%

De todas maneras, este cálculo “rápido” usando las “reglas” anteriores o el cálculo que hemos mostrado, ambos suponiendo que no hay “gases sin quemar” (cero CO u otros). Cuando tenemos gases sin quemar, el cálculo debe contemplar este parámetro, haciendo los cálculos correspondiente y ya “afinando” el cálculo, poniendo otras pérdidas que hemos despreciado en los cálculos anteriores. Lo ideal, es desarrollar un cálculo de Eficiencia en una “planilla de cálculo” o conseguir comprar un software que lo permite, el siguiente es un cálculo que el autor a desarrollado para su uso en las mediciones que hace en la industria. Lo pongo como ejemplo, de una caldera a leña (eucaliptos):

En esta planilla, solo poniendo los valores de gases en chimenea, los parámetros del combustible, los parámetros de operación de la caldera, los parámetros de la caldera y el agua, nos dá las distintas Eficiencias.

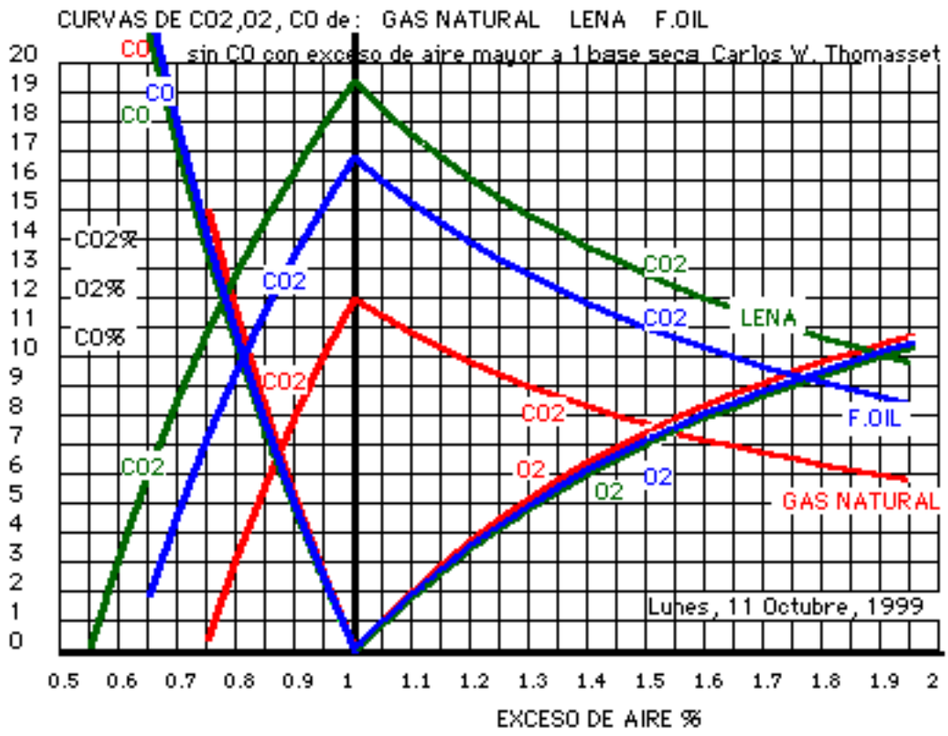
Modulo 4-CALCULO RAPIDOS Y GRAFICOS DE GASES CHIMENEA

	A	B	C	D	E	F
1	**CALCULO DE EFICIENCIA DE COMBUSTION CON LEÑA**					30-sept-06
2	**EMPRESA**	***XXXXX***		**CALDERA =**	***XXXXXXXX***	
3	COMBUSTIBLES COMPOSICION ELEMENTAL				CENIZAS=	0.80%
4	CARBONO	HIDROGENO	OXIGENO	AZUFRE	AGUA	NITROGENO
5	50.20%	7.00%	42.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6	AIRE MINIMO PARA LA COMBUSTION EN Kg/Kg				4.16	Kg/Kg
7	AIRE MINIMO EN BASE SECA				6.40	Kg/Kg
8	**VALORES EN CHIMENEA**		CO2 %	O2 %	GRADOS Cº	TEMP.AMB.
9	CO2 MAX.=	19.40%	***8***	***12.34***	***170***	***20***
10	EXCESO DE AIRE		2.40	139.66%	0.27	Cpm gaschimen
11	GASES NO QUEMADOS COMO CO %=			***0.001***		
12	**CALCULO DE GASES DE CHIMENEA CON EL FYRITE**					
13	SIGMA=	1.10	BETA=	*0.00*	EXCESO FYRITE=	**1.38**
14	***FYRITE CO2 %***	***14***	**OXIGENO CALCULADO FYRITE=**			**5.84**
15	PODER CALORIFICO INFERIOR BASE SECA				4308.30	Kcal./Kg
16	PODER CALORIFICO SUPERIOR BASE SECA				4686.30	Kcal./Kg
17	PODERES CALORIFICOS REALES CONSIDERANDO H% HUMEDAD					
18			%HUMEDAD	P.C.S.REAL	P.C.I.REAL	
19			***35.00%***	3046.10	2590.40	
20	EFICIENCIA DE LA COMBUSTION P.C.S.				70.61%	
21	EFICIENCIA DE LA COMBUSTION P.C.I.				83.03%	
22	EFICIENCIA CALD.(térmica,purgas,pérd.)				**94.26%**	
23	EFICIENCIA TOTAL REFERIDA AL P.C.S.				66.55%	
24	EFICIENCIA TOTAL REFERIDA AL P.C.I.				78.26%	
25	TEMPERATURA DEL AGUA DE ALIMENTACION ºC				***80***	**ºC**
26	CAUDAL ALIMENTACION=		***6670***	LTRS./HORA	%PURGA/ALI=	***6.30%***
27	VAPOR:PRESION,CALOR		***16***	Kg/CM2	668.28	Kcal./Kg.
28	CAPACIDAD NOMINAL CALDERA		***7000***	Kg/H. VAPOR	EFIC.TERMICA	***97.00%***
29	CAPACIDAD PROMEDIO CALDERA			**6009**	Kg./H.VAPOR	
30	**KILOGRAMOS DE VAPOR POR Kg LEÑA**				**3.45**	Kg.VAPOR
31	**CONSUMO DE LEÑA=**		**Seca Kg/h=**	**1744**	**Verde Kg/h=**	**2519**
32	**MEJORANDO LAS CONDICIONES DE COMBUSTION**				**MONOXIDO=**	**0%**
33	VALORES EN CHIMENEA		CO2 %	O2 %	GRADOS Cº	TEMP.AMB.
34			***14.5***	***5.3***	***170***	***20***
35	EXCESO DE AIRE		1.33	33.09%	0.28	Cpm gas chimen
36	AIRE MINIMO PARA LA COMBUSTION EN Kg/Kg				4.16	Kg/Kg
37			**%HUMEDAD**	P.C.S.REAL	P.C.I.REAL	
38			***35.00%***	3046.10	2590.40	
39	EFICIENCIA DE LA COMBUSTION P.C.S.				75.97%	
40	EFICIENCIA DE LA COMBUSTION P.C.I.				89.33%	
41	EFICIENCIA DE LA CALDERA (TERMICA:CONV.COND.RAD.PERD.PURG.				**94.26%**	
42	EFICIENCIA TOTAL REFERIDA AL P.C.S.				71.61%	
43	EFICIENCIA TOTAL REFERIDA AL P.C.I.				84.20%	
44	CAPACIDAD NOMINAL CALDERA=		***7000***	Kg/HORA VAPOR	EFICIENCIA TERM	***97.00%***
45	CAPACIDAD PROMEDIO CALDERA =			**6009**	Kg/HORA VAPOR	
46	**KILOGRAMOS DE VAPOR POR Kg.LENA**				**3.71**	**Kg.vapor**
47	**CONSUMO DE LENA**		**Seca Kg/h =**	**1621**	**Verde Kg/h =**	**2341**
48	Diferencia Leña seca Kg. =		123	Diferencia leña verde Kg. =		178
49	**DIFERENCIA LENA SECA %**		**7.06%**	**DIFERENCIA LENA VERDE %**		**7.06%**
50					***Carlos W. Thomasset***	
51	Itálicas: Datos entrados (reales o supuestos)					
52						
53	En este caso, comparamos una caldera quemando leña con mucha humedad, que produce 1% CO.					
54	Aquí la pérdida es producida por la necesidad de un exceso de aire, por el CO que se ha producido.					
55	La pérdida por CO es del 6% por cada 1%CO, en estas condiciones.					
56	Si damos el exceso de aire necesario, un 50%, la pérdida sería de solo un 3%.					

Medición del exceso de aire en gases de chimenea:

Para medir el exceso de aire en los gases de chimenea debemos utilizar instrumentos y gráficos (o que el instrumento si es eléctrónico muchas veces lo calcula poniendo como dato el combustible que se está midiendo). No todo el exceso de aire se debe al que ha entrado por el quemador, pudiendo haber filtraciones por la envuelta de la caldera o tapas de observación. Este aire debe ser eliminado todo lo posible, poniendo juntas (o calafateando rajaduras o aberturas que no ajustan). **Pero no debemos descartar que un buen foguista, observando la llama de la combustión y los “humos” puede en general dar una idea del exceso de aire, que veremos como se hace al describir cada combustible.**

Gráfico de la relación del exceso de aire, el CO2, CO y el O2 para leña, F.Oíl pesado y gas natural



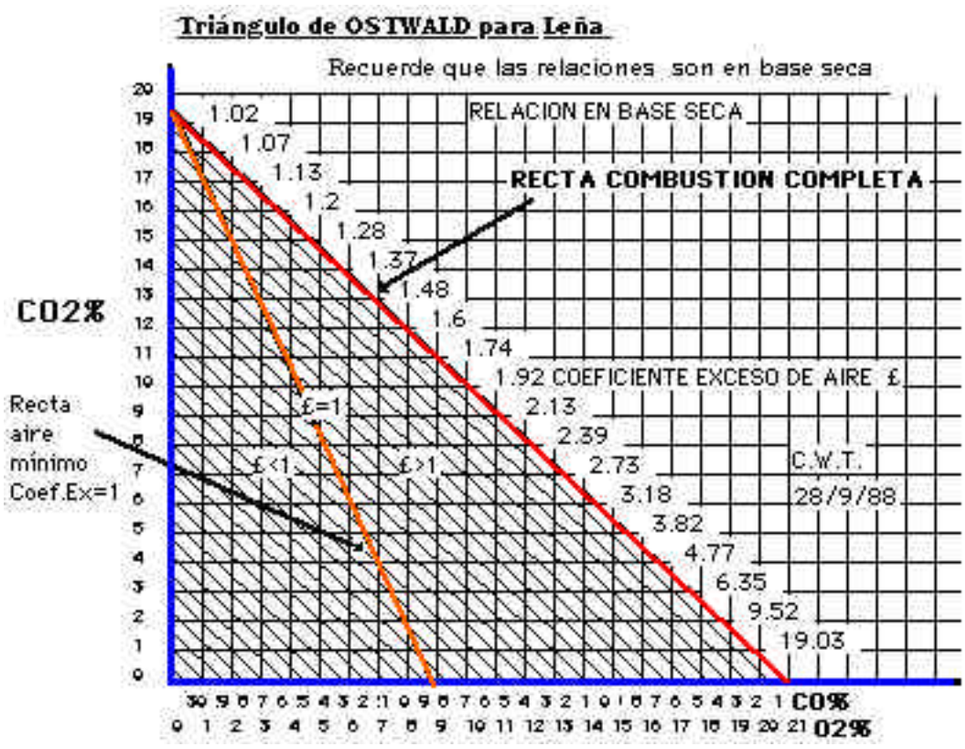
Este gráfico permite tener una idea del **Exceso de aire** (coeficiente) al medir los gases de chimenea, tiene el inconveniente que supone que **no hay presencia de CO** (monóxido de carbono, es decir carbono que se ha "quemado" con un solo oxígeno y ha entregado un 30% de su calor solamente) **cuando hay exceso de aire**. El exceso de aire empieza al valor mayor que 1, siendo el % de exceso igual al Nº menos 1 por 100 (ejemplo: midiendo leña tenemos un CO2 de 10%, en el Eje vertical leemos 10% de CO2 y seguimos la horizontal hasta que corte la curva de CO2 correspondiente a la leña, desde ese punto bajamos por la vertical hasta el eje horizontal donde leeremos Coeficiente de Exceso de aire 1,9 , el % de Exceso de aire será : 1,9-1= 0,9 por 100 = 90% de Exceso de aire. Es decir, que tenemos un 90% de aire que sobraría, pero en leña normalmente podemos necesitar un Exceso de aire del 40-50%, es decir que el aire realmente sobrante será 90%-40% (ó 50%) = 40%(ó 50%). Debemos de tratar de ajustar la cantidad de aire necesaria para evitar este exceso elevado.

O si se miden los gases de chimenea (CO2, O2 y CO % en base seca) se puede usar la siguiente fórmula para calcular el % de exceso de aire: Para usar esta fórmula debemos usar un instrumento como el ORSAT que describiremos más adelante (o instrumentos que midan por separado CO2 %, O2% y CO%, pero en base “seca”).

$$£(ex.aire) = \frac{(1 - CO2 - O2 - CO)}{(1 - CO2 - 1{,}5\,CO - ((O2 - 0{,}5\,CO)/0{,}21))}$$

Vemos que midiendo el **O2** (oxígeno), el **Exceso de aire es prácticamente igual** para los 3 combustibles anteriores para **una misma lectura de oxígeno**, por ello se prefiere medir el oxígeno si es posible, ya que permite medir el Exceso de aire sin saber exactamente la composición del combustible.

Modulo 4-CALCULO RAPIDOS Y GRAFICOS DE GASES CHIMENEA



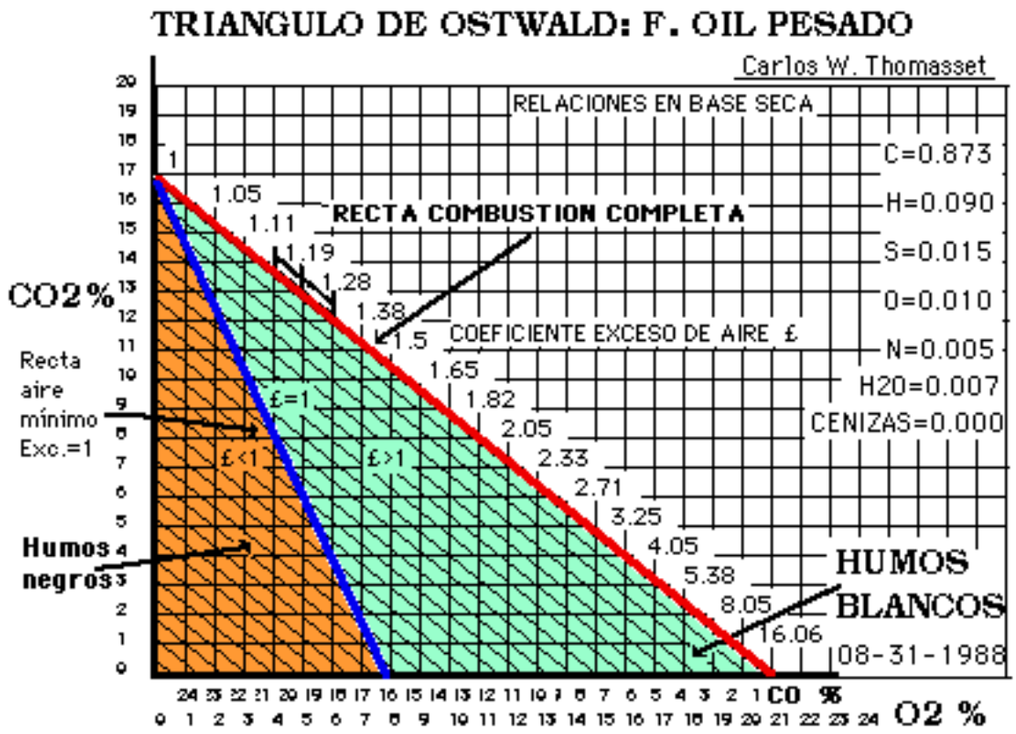
Para utilizar el triángulo de OSTWALD en leña es conveniente medir CO2 u O2 y CO en ambos casos (o los tres es mejor: con un ORSAT). Por la vertical entre con las lecturas de CO2 % y por horizontal entre el O2% en la numeración inferior, si no hay CO trazando los valores de CO2 y O2, los mismos deberán cortarse en la hipotenusa, en donde leeremos el Coeficiente de Exceso de aire. Si medimos el CO % (que es aconsejable) debemos de leer su valor en la horizontal correspondiente a CO% y seguir las paralelas a la hipotenusa en el interior del triángulo hasta cortar el punto en que debería unirse con los trazados de CO2% y O2%, en este caso el Coeficiente de Exceso de aire se debe de sacar trazando una paralela a la recta que marca el Coeficiente de Exceso de aire igual a 1 (aire mínimo necesario) que pasaría por el punto de intersección de las rectas (del CO2, O2 y CO) y que cortaría a la hipotenusa en donde se leería el valor del Coeficiente de exceso del aire (estas rectas no se trazaron para no oscurecer el trazado). Normalmente si medimos con un ORSAT (CO2,CO y O2) es muy difícil que se unan en un punto, por lo que hay que trazar el triángulo de los cortes entre cada una de las rectas (CO2 y CO , CO2 y O2 , CO y O2) y tomar el punto medio equidistante de los 3 lados de este triángulo pequeño.

Puede haber diferencias importantes entre la medida del ORSAT y el triángulo de OSTWALD que disponemos, ya que el trazado depende de la composición de la leña, su combustión y errores al medir; pero es muy interesante su aproximación para poder razonar los problemas de la combustión.

En el trazado del triángulo de OSTWALD, hemos supuesto que el CO viene solo como gas sin quemar, cuando en la práctica se considera la presencia de otros elementos sin quemar, como el hidrógeno entre ellos, se puede estimar que tenemos la misma cantidad de estos gases sin quemar que la cantidad de CO.

Veremos más adelante como interpretar el triángulo de OSTWALD y como utilizar el instrumento.

Modulo 4-CALCULO RAPIDOS Y GRAFICOS DE GASES CHIMENEA



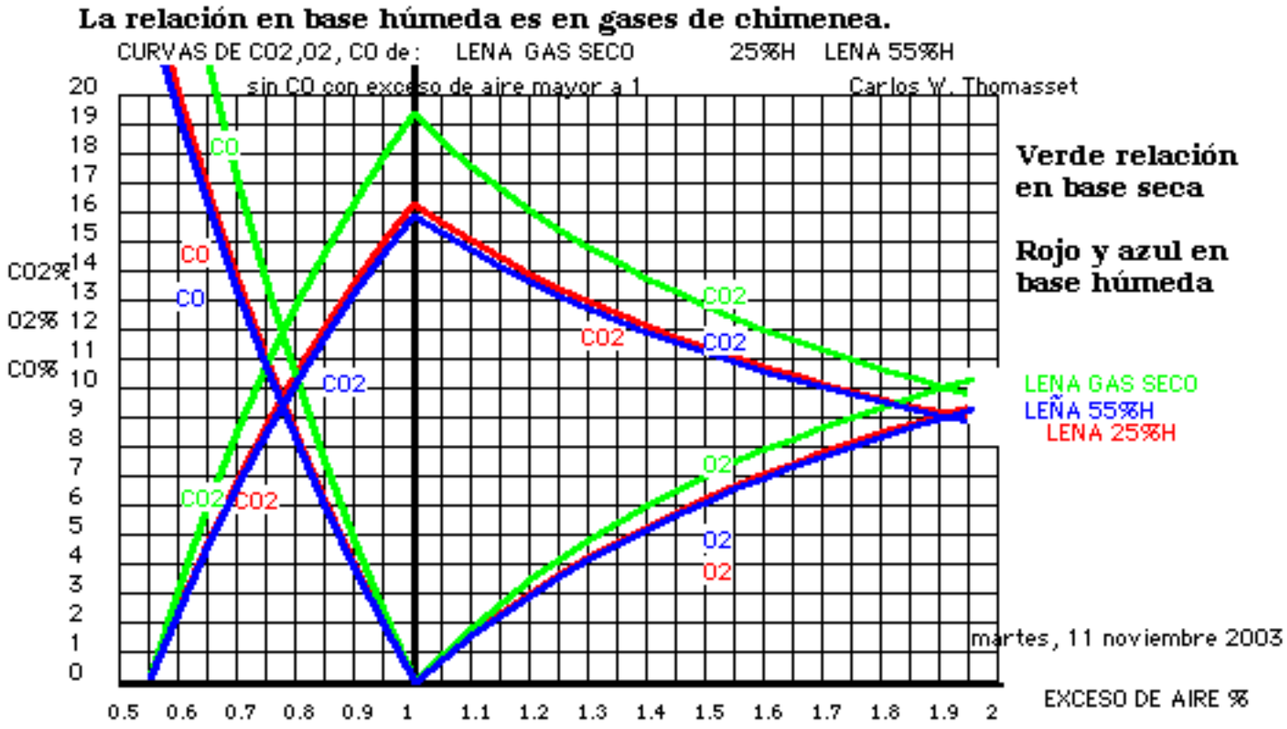
Como en Leña y gases es común que aparezca el CO **por mala combustión**, es preferible la utilización del triángulo de OSTWALD (que veremos más adelante como se interpreta), para lo cual debemos de medir el CO2% ó el O2% , **pero siempre medir el CO** (que aunque haya exceso de aire, puede producirse por mala combustión). **En vez de medir el CO%, algunos instrumentos miden los “gases no quemados” en ppm** (partes por millón) **en % de los gases totales “secos” o “húmedos”** (“humedos” se refiere a que considera la humedad del agua en los gases de chimenea, humedad que es el vapor del agua que del agua que trae el combustible (especialmene en leña) y el agua que se forma por la combustión del hidrógeno que contiene el combustible sin reaccionar y el agua constituyente del combustible o sea la combinación ya supuesta entre el hidrógeno y el oxígeno que constituyen las moléculas del mismo).

Por eso, cuando medimos los gases de chimenea, debemos de informarnos en que relación mide el instrumentos, en gases “secos “ (vapor de agua condensado) **o en gases húmedos** (vapor de agua sin condensar en los gases de chimenea), **aunque muchos de los instrumentos enfrían la muestra de gases y condensan la mayor parte del vapor de agua de los gases, aunque la muestra practicamente queda saturada de vapor de agua la temperatura de medida** (temperatura ambiente, cuando los gases por lo general están por encima de los 180 ºC, lo cual tienen una capacidad de mantener sin saturar un cantidad de agua muy superior que los 20ºC, **es decir que la medida en % será más próxima a la medida que dan los instrumentos en base “seca”** (como el ORSAT, FYRITE, etc.), **no así los que tienen “celdas” electroquímicas** (que si bien se aproximan su lectura a la base “seca” y son la mayoría de los instrumentos que miden con los gases enfriados a temperatura ambiente y las celdas están a esa temperatura) **. Los instrumentos que miden en base “húmeda” son por lo general los que se encuentran sus celdas o sensores** (como los de óxido de zirconio para medir oxígeno y gases no quemados) **que se encuentran sumergidos en los “gases de chimenea” a la temperatura de la chimenea o superior** (impidiendo que se condense el vapor de agua).

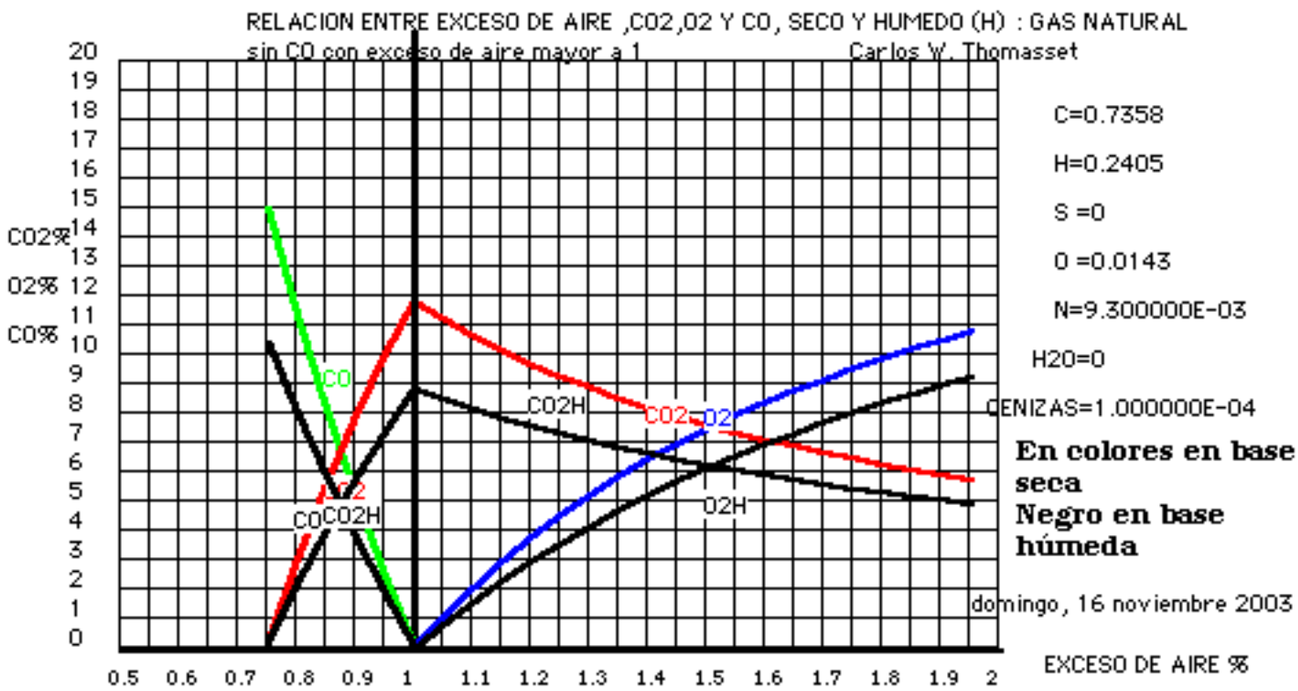
Veamos la incidencia en una gráfica entre la relación medida en base “seca” y base “húmeda”.

La gráfica siguiente, muestra la diferencia entre la medición de los gases en base “seca” y en base “húmeda” (o sea como están en la chimenea). Hay que tener cuidado para la interpretación de los instrumentos a utilizar para medir, desde que si no medimos el CO o los “gases sin quemar” y no tenemos seguridad de que su presencia no ocurre, la medida pierde valor, ya que no es lo mismo la interpretación del exceso de aire con combustión completa que la que se produce con combustión incompleta. También en esta interpretación hay que considerar en que relación miden los instrumentos, en base “seca” o en base “húmeda” (dado que por muchos años como las mediciones se hacían por absorción (Firite, ORSAT, etc.) y por gases enfriados, por lo general la idea es interpretar como que la medida es en base “seca”, pero con la nueva generación de instrumentos esto ha cambiado, ya que hay muchos instrumentos actuales (especialmente los fijos en chimenea, como las celdas de zirconio par medir oxígeno) miden en base “húmeda”. Pero si observamos cuando decimos oxígeno O2% igual a 4% en base “seca”

veremos que el valor en base “húmeda” (ambos con el mismo exceso de aire) dan valores diferentes, como en el caso de la leña que aún varía más al variar el % de humedad. Por lo general el % de O2 en base “seca” da un valor menor que el correspondiente (al mismo exceso de aire) que en base “húmeda”.

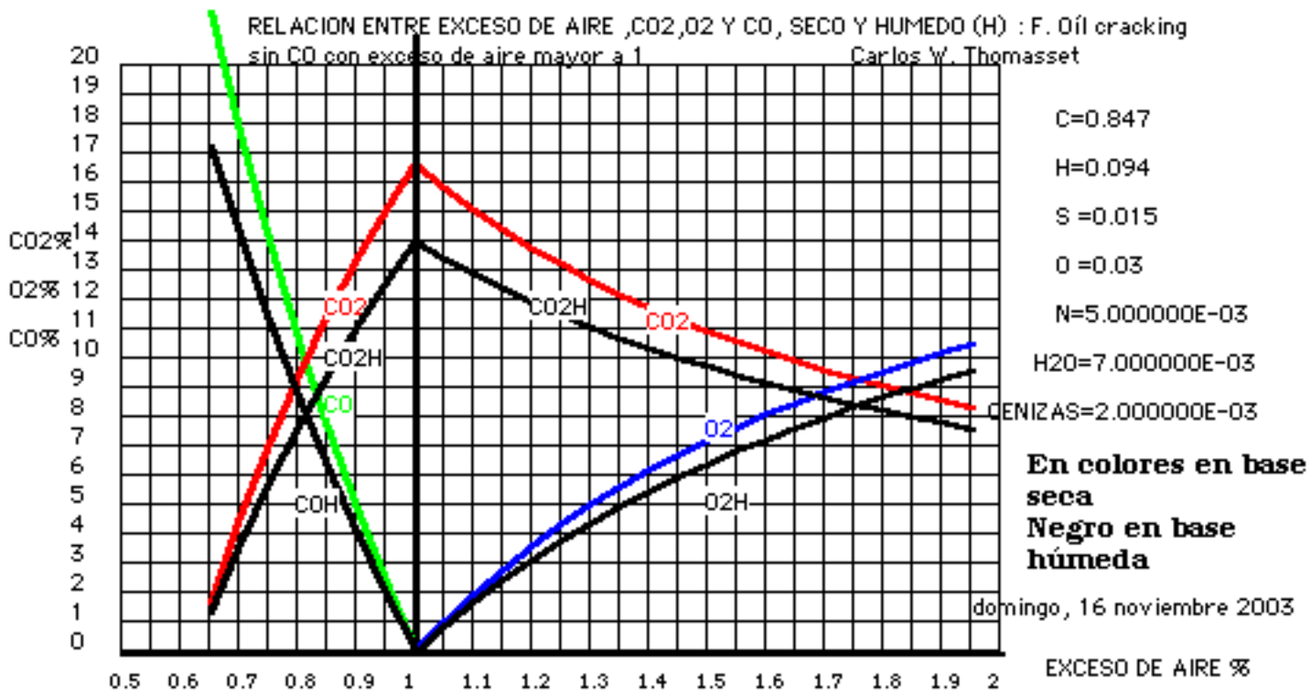

La relación en base húmeda es en gases de chimenea.
CURVAS DE CO2,O2, CO de: LENA GAS SECO 25%H LENA 55%H
sin CO con exceso de aire mayor a 1
Carlos W. Thomasset
CO2%
O2%
CO%
Verde relación en base seca
Rojo y azul en base húmeda
LENA GAS SECO
LEÑA 55%H
LENA 25%H
martes, 11 noviembre 2003
EXCESO DE AIRE %

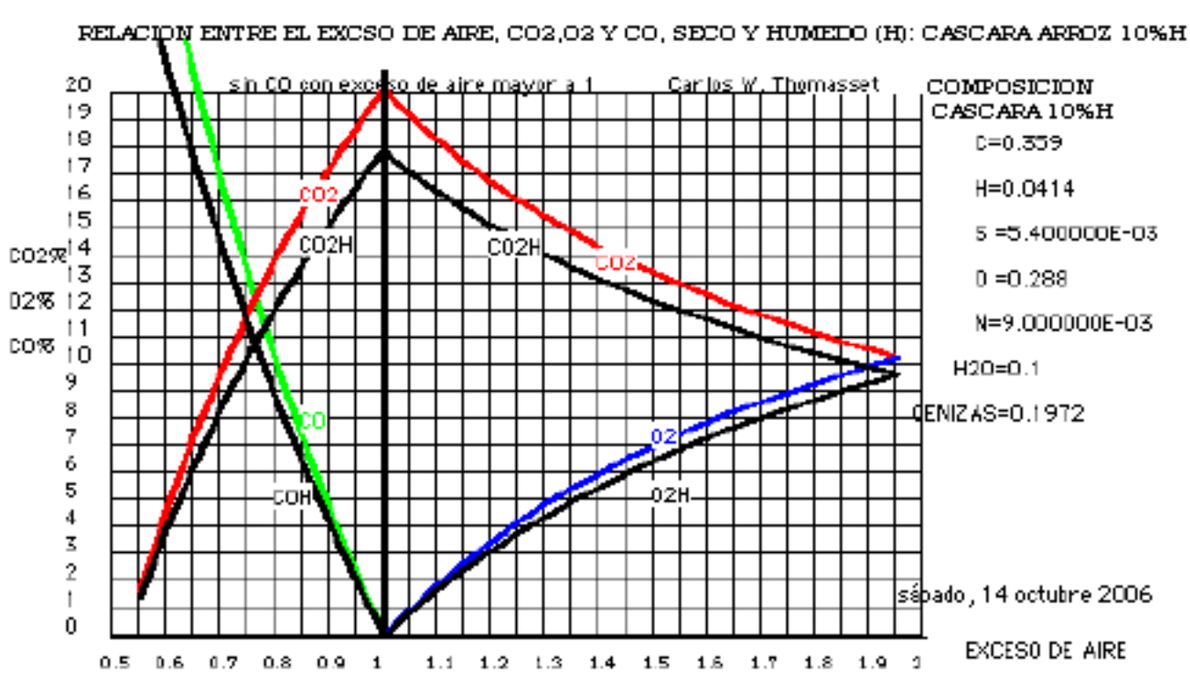
Veremos que cuanto mayor sea el % de humedad o el contenido de hidrógeno de un combustible, más se tienden a separar las gráficas de las medidas de gases (CO2, O2, CO, etc.) ente las correspondientes a “base seca” (absorción: Fyrite, ORSAT, etc.) y las medidas directo en la chimenea (con el vapor de agua en los gases: como las celdas de zirconio para O2, la medidas de gases sin quemar por “inducción”, etc.) o las medidas con el gas enfriado a “ambiente” en celdas electroquímicas o “puentes de resistencias” tipo Weston de “celdas catalíticas”, etc.



Todo lo contrario, que uno pensaría respecto al Fuel Oíl pesado, el contenido de hidrógeno también afecta las relaciones entre “gases secos” y la medida en “gases húmedos”.

Modulo 4-CALCULO RAPIDOS Y GRAFICOS DE GASES CHIMENEA

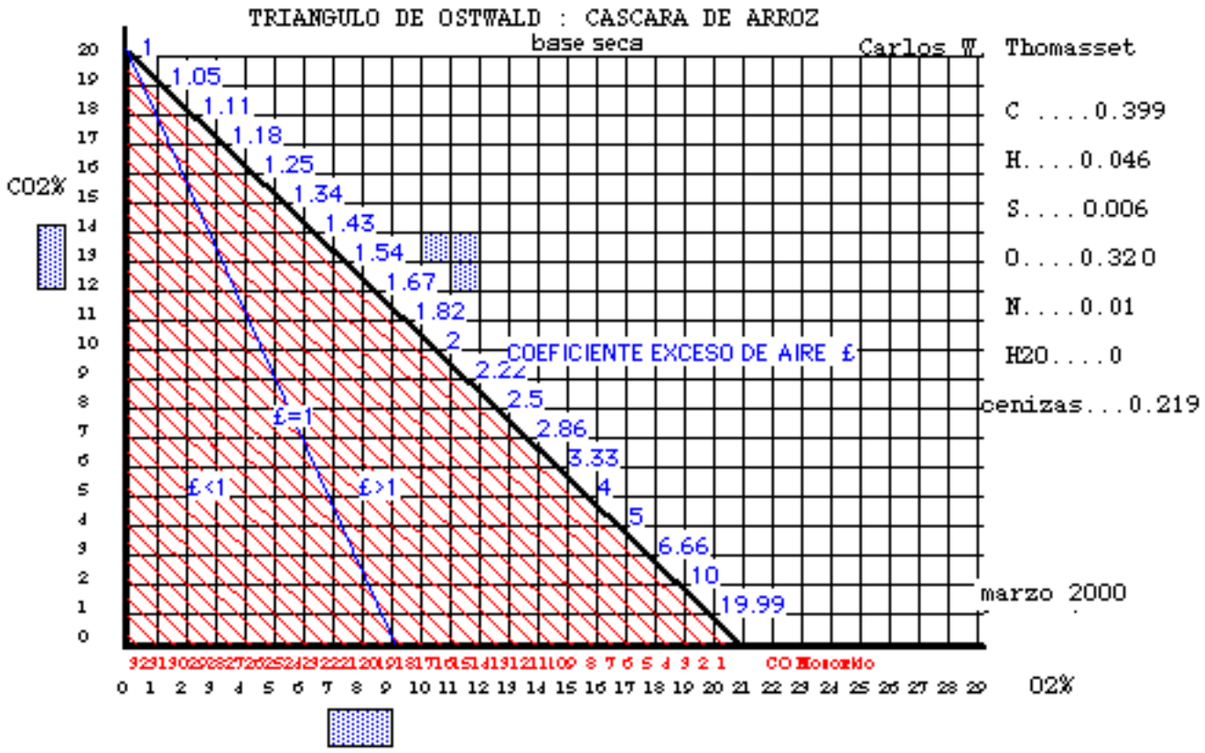




El poder calorífico de la cáscara de arroz es bastante elevado, su humedad es del orden del 10%, compitiendo su capacidad calórica con el de la leña de 25% a 30% humedad. Aunque tiene varios problemas para su combustión, el alto contenido de cenizas (casi más del 20% generalmente) aunque la combustión sea total, y si si ésta no es, es aún mayor por el contenido de cáscaras a medio quemar.

Hemos puesto en el gráfico anterior, la composición de la cáscara de arroz con 10% de humedad base húmeda (H.b.h). Si consideramos la composición en base seca, veamos la misma en el trazado del triángulo de OSTWALD en la siguiente página.

Modulo 4-CALCULO RAPIDOS Y GRAFICOS DE GASES CHIMENEA



Veremos en los siguientes módulos como se interpretan las curvas y especialmente los triángulos de OSTWALD, herramienta fundamental para poder estudiar las combustiones. Algunos triángulos de OSTWALD los encontraremos en los módulos correspondientes al combustible a medir.